

Supporting Information for article:

The Cortical Representation of the Constituent Structure of Sentences

Christophe Pallier and Anne-Dominique Devauchelle and Stanislas Dehaene

INSERM-CEA Cognitive Neuroimaging Unit, CEA/SAC/DSV/DRM/Neurospin Center
Bât 145, Point Courier 156, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

November 22, 2010

Contents

1 Imaging and Data analysis	2
2 Revision of the model based on the observed logarithmic increase	3
3 The sustained-activity model	4
4 Regions of Interests and their response profiles	10
5 Sentences from which constituents were extracted	24
6 Sentences from which non-constituents were extracted	27

List of Tables

S1 Regions showing increasing activations with constituent size	5
S2 Regions where activation decreased with constituent size	6
S3 Coefficients of determination of models predicting response amplitude either from constituent size (R^2_{lin}) or from its log R^2_{log} , and Likelihood ratios comparing the two models	7
S4 <i>p</i> -values from Student's T tests comparing activations in the non-constituent vs. constituent conditions in the 6 main Regions of Interest.	8
S5 Regions of Interest	10

List of Figures

S1 Revised model in which neural activity increases less than linearly	3
S2 Sustained-activity model	4
S3 Regions where activation <i>decreased</i> with constituent size	9
S4 Response in Left Anterior Superior Temporal Sulcus (aSTS; -54 -12 -12)	11
S5 Response in Left Inferior Frontal Gyrus - Pars Orbitalis (IFGorb; -45 33 -6)]	12
S6 Response in Left Inferior Frontal Gyrus - Pars Triangularis (IFGtri; -51 21 21)	13
S7 Response in Left Posterior Superior Temporal Sulcus (pSTS; -51 -39 3)	14
S8 Response in Left Temporal Pole (TP; -48 15 -27)	15
S9 Response in Left Temporo-Parietal Junction (TPJ; -39 -57 18)	16
S10 Response in Left Putamen (-18 16 12)	17
S11 Response in Precuneus (-6 -59 39)	18
S12 Response in Left Inferior Parietal Lobule (-47 -53 47)	19
S13 Response in Anterior Cingulate (6 45 0)	20
S14 Response in Middle Cingulate (3 -27 39)	21
S15 Response in Right Frontal Middle Gyrus (36 30 45)	22
S16 Response in Left Occipital Middle Gyrus (-15 -90 -9)	23

1 Imaging and Data analysis

Magnetic Resonance Imaging

The acquisition was performed with a 3 Tesla Siemens Tim Trio system equipped with a twelve channels coil. For each participant, an anatomical image was first taken, using a 3D Gradient-echo sequence and voxel size of 1x1x1.1 mm; Then, a total of 1160 functional scans were acquired during five sessions of 232 scans each, using an Echo-Planar sequence sensitized to the BOLD effect (TR = 2.4 secs, TE = 30 msecs, Matrix = 64x64 ; Voxel size = 3x3x3 mm; 40 slices in ascending order).

Data preprocessing and Analysis

Data processing was performed with SPM5 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, software available at <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>). The anatomical scan was spatially normalized to the avg152 T1-weighted brain template defined by the Montreal Neurological Institute using the default parameters (nonlinear transformation). Functional volumes were corrected for slice timing differences, realigned to correct for motion correction, spatially normalized using the parameters obtained from the normalization of the anatomy, and smoothed with an isotropic Gaussian kernel (FWHM=5mm).

In a first SPM model, experimental effects at each voxel were estimated using a multi-session design matrix modeling the 9 conditions (c01, c02, c03, c04, c06, c12, nc3, nc4, probes) and the 6 movement parameters computed at the realignment stage. Each stimulus was modeled as an epoch lasting 3.6 seconds, corresponding to the duration of stimulus display. The regressors were created by convolving these epochs by the standard SPM hemodynamic response function and its derivative. Contrasts averaging the regression weights associated with each condition were computed and smoothed with a 8x8x8mm Gaussian kernel. These estimates of the individual effect sizes were entered in a second-level analysis of variance model with one regressor per group and experimental condition, as well as one regressor per subject to remove main effects of subjects. Unless otherwise mentioned, the results are reported using a stringent correction for multiple comparisons across the whole brain volume (voxel-based p<0.05 Family-Wise-Error threshold).

To search for regions showing an effect of constituent size, that is, where activation increases from conditions c01, c02, c03, c04, c06 to c12, we used a linear contrast testing for increasing activation across the six conditions (with weights=[-5 -3 -1 1 3 5]). We also evaluated a strictly linear contrast respecting the numerical scale 1, 2, 3, 4, 6, 12 (weights=[-11 -8 -5 -2 4 22]) and a logarithmic contrast proportional to log(constituent size). These two contrasts yielded essentially similar results to the simple linear contrast above, although the logarithmic contrast was slightly more sensitive. We also searched the whole brain for linearly decreasing and for quadratic effects of constituent size.

To compute the responses phase, a second SPM model was designed, using constant, sine and cosine basis functions with a period of 12s instead of the standard hemodynamic response function and its derivative. Phases were computed for each subject from the obtained parameters using the arctangent (atan2) function, and further converted in seconds using the corresponding fraction of the period. Thus, a phase of 5 seconds indicates that, when fitted by a sinusoid, the BOLD response peaked approximately 5 seconds after the onset of the stimulus sequence. The group results were computed from individual phases using the circular mean and standard error.

The phase of the BOLD response is only defined for conditions in which a significant activation is observed, and can be meaningfully interpreted as a delayed activation for regions in which a positive BOLD effect is seen. We therefore only report and analyze the conditions in which the mean phases passed a statistical test for significance across subjects (Rayleigh's test, p<0.05), and further fell in a reasonable range for a BOLD response (2.5 to 8 seconds). The effect of constituent size on phase was defined as the phase difference between conditions c12 and c01, estimated from the slope of the regression of the group mean phases in the six main conditions of interest (c01, c02, c03, c04, c06, c12) with $\log(n)$ (where n is constituent size). Because phases lie on a circular rather than scalar continuum, significance could not be assessed with classical regression tests. We computed confidence intervals for the slope using a bootstrap approach from the distribution of the circular means in randomly permuted data. To improve the stability of the phase analysis, we pooled together the data from the normal and jabberwocky groups for those regions showing activation in both conditions (IFGorb,

IFGtri, pSTS). For the remaining regions (aSTS, TP, TPJ), only the normal-prose group was used. For TP and TPJ, the Rayleigh test was not passed for most conditions, thus preventing further quantitative analysis of phases.

2 Revision of the model based on the observed logarithmic increase

Our empirical observations show that, for a fixed number of words, activation increases as a logarithmic function of their internal constituent size. This observation is incompatible with the simple accumulation model which predict a linear increase. In this section, we examine how the empirical observation leads to a revision of this model.

Definitions and assumptions:

- Let w be the number of words in a constituent.
- Let n be the number of times that a constituent of size w is presented.
- The total number of words therefore is $n \times w$.

In our experiments, for instance, the condition c02 presents 6 constituents of size 2, hence $w = 2$ and $n = 6$. Generally, our design is such that in condition cw , $n = 12/w$, since a total of 12 words is always presented.

- Let $F(w)$ be the size of the neural activation evoked to encode a single constituent of size w .
- We assume that this activation is itself the sum of the activations $G(i)$ evoked by each of the successive words ($i = 1$ to w). That is, each incoming word gets integrated into the previously established structure by adding to it an additional amount of activation $G(i)$.

An assumption underlying the accumulation model presented in the introduction is that each of the n successive constituents elicits an identical activation $F(w)$. After convolution with the impulse hemodynamic function (HRF), we therefore expect the total activation evoked by condition cw to be approximately proportional to $n \times F(w)$. We empirically observe this activation to be proportional to $\log(w)$. After substituting n with $12/w$, and solving for $F(w)$, we obtain

$$F(w) = kw \log(w)$$

where k is a scaling constant. Because $F(w)$ is itself the sum of the $G(i)$ for $i = 1 \dots w$, $G(i)$ itself must vary as $k(i \log(i) - (i-1) \log(i-1))$, or approximately as $k \log(i)$.

Thus, we obtain the following conclusion:

If the observed activation is the sum of activations evoked by each of the constituents, then the activation evoked by the i th word of each constituent must be proportional to $\log(i)$.

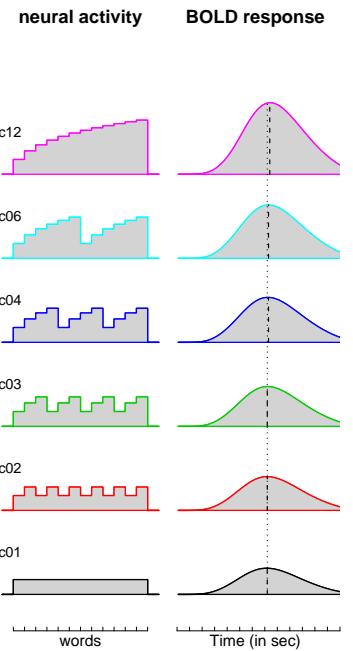


Fig. S1: Simulations from a revised model in which neural activity increases less than linearly whenever a word is added to a constituent. Such a model, although tentative, is needed to account for the observed logarithmic increase of the BOLD response (right column).

3 The sustained-activity model

The sustained-activity model relies on two hypotheses. First, a brain region that integrates the successive words forming a linguistic constituent should exhibit sustained activity throughout the presentation of the corresponding words, holding the merged internal representation of their constituent structure in working memory. Second, this activation might collapse as soon as a novel incoming word ceases to be incorporable into the overall structure. Thus, sustained activation would start with the first word and stop when a novel unrelated constituent starts. In other words, only the first constituent contributes to the observed activation.

Such a profile of activation might occur in a putative area coding for the overall integrated structure of the stimuli: the words forming the first constituent can be integrated together into a well-formed structure, but when a second unrelated constituent is presented, they cannot be merged together into a single well-formed assemblage, and activation therefore drops to zero.

Predictions The sustained-activity model predicts a linear increase in fMRI activation amplitude as a function of constituent size, and a large increase in phase, in the order of 1.8s from c01 to c12 (see Fig.S2). This is because the phase approximately reflects the location of the barycenter of activation. Thus, it should vary linearly with constituent size, with a slope equal to half of the total stimulation duration, hence 1.8 second for our 3.6 second-long stimuli. Simulations verified these inferences, showing a linear increase in phase with an increase of 1.65s from c01 to c12.

Revising the sustained-activity model based on the observed logarithmic increase

The key assumption underlying the sustained activity model is that only the first constituent contributes to the total activation. Thus, the total activation evoked by condition cw is simply proportional to $F(w)$. We empirically observe this activation to be proportional to $\log(w)$: $F(w) = k \log(w)$. As a result, $G(i)$ itself must vary as $G(i) = k/i$

Thus, we obtain the following conclusion:

If the observed activation is evoked only by the first constituent, then the activation evoked by the i th word of the first constituent must be proportional to $1/i$.

Simulations show that such a model predicts a reduced increase in phase from c01 to c12 (0.83s), about half that of the original linear sustained-activity model.

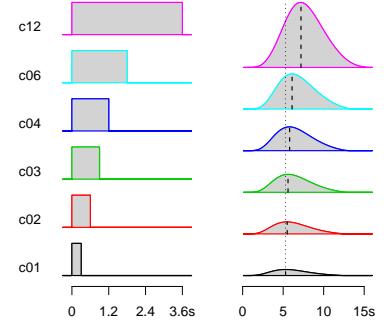


Fig. S2: Response profile of a region where activity is sustained throughout the first constituent, then collapses

Table S1: Regions showing increasing activations with constituent size

	Cluster size	T (df=266)	x	y	z
Analysis at $p < .05$ family-wise-error corrected					
<i>normal-prose group</i>					
Temp. Mid. L (<i>aSTS</i>)	333	9.37	-54	-12	-12
Temp. Pole L. (<i>TP</i>)		7.41	-48	15	-27
Temp. Mid. L (<i>pSTS</i>)	190	6.93	-39	-57	18
Temp. Mid. L		5.58	-48	-45	3
Frontal Inf. Tri. L	204	6.43	-51	30	6
Frontal Inf. Tri. L		5.76	-54	21	15
Putamen L	9	5.03	-18	6	12
Frontal Sup. Medial L	7	4.72	-6	54	36
Temp. Pole L. (internal)	2	4.61	-27	-3	-39
Temporal Mid. R	1	4.55	51	0	-21
<i>Jabberwocky group</i>					
Frontal Inf Orb L	42	5.53	-45	33	-6
<i>Normal>Jabberwocky</i>					
Temporo-Parietal Junction	53	5.25	-45	-66	24
		5.18	-39	-57	21
Temp. Pole L	28	5.08	-48	15	-30
Temp. Mid. L.	13	4.80	-54	-12	-12
		4.58	-40	3	15
<i>Jabberwocky>Normal</i>					
No suprathreshold activations					
Additional analysis of the Jabberwocky group					
at $p < .001$ uncorrected, cluster size> 40					
Frontal Inf Orb L (<i>IFGOrb</i>)	332	5.53	-45	33	-6
Frontal Inf Tri L (<i>IFGTri</i>)		4.41	-51	21	21
Temp. Mid. L (<i>pSTS</i>)	75	4.35	-51	-39	3
		3.71	-57	-48	6

Anatomical labels are obtained with the Anatomical Automatic Labeling toolbox
[\(\[http://www.cyceron.fr/web/aal_anatomical_automatic_labeling.html\]\(http://www.cyceron.fr/web/aal_anatomical_automatic_labeling.html\)\)](http://www.cyceron.fr/web/aal_anatomical_automatic_labeling.html)

Table S2: Regions where activation decreased with constituent size

	Cluster size	T (df=266)	x	y	z
Analysis at $p < .05$ family-wise-error corrected					
<i>normal-prose</i>					
Precuneus L					
Precuneus R	159	6.26	-6	-69	39
Parietal Inf. L		4.76	9	-69	39
Frontal Mid. R	51	5.68	-47	-53	47
Occipital Mid. L	34	5.23	36	30	45
Occipital Inf L	27	5.22	-15	-90	-9
Cingulum Mid (L & R)		4.81	-27	-81	-9
Cingulum Ant. R	50	5.32	3	-27	39
Frontal Mid. Orb. L	34	4.91	6	45	0
Frontal Mid. R	6	4.95	-27	45	-12
Frontal Mid. L	6	4.76	42	39	33
Fusiform R	5	4.69	-36	30	39
Frontal Sup. Medial L	4	4.65	27	-72	-9
	1	4.54	-12	51	0
<i>Jabberwocky</i>					
Occipital Mid. L	178	7.75	-18	-87	-6
Occipital Mid. R	28	5.42	21	-84	3
Fusiform R	22	4.98	33	-60	-3
Frontal Sup. R	15	4.73	24	-3	60
Supp. Motor Area R	1	4.71	12	9	54
Lingual R	3	4.60	6	-57	0

Table S3: Coefficients of determination of models predicting response amplitude either from constituent size (R^2_{lin}) or from its log R^2_{log} , and Likelihood ratios comparing the two models

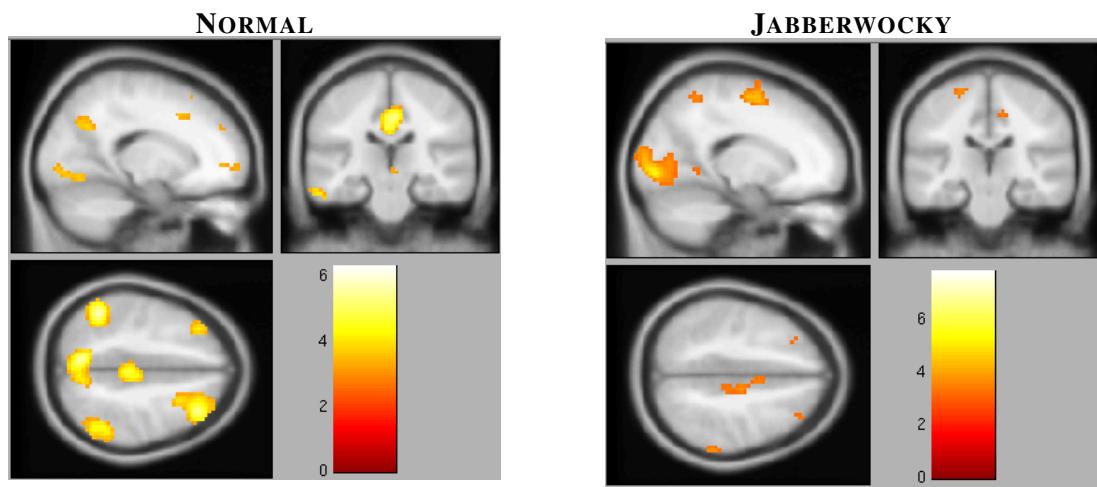
	normal-prose			Jabberwocky		
	R^2_{lin}	R^2_{log}	Likelihood ratio	R^2_{lin}	R^2_{log}	Likelihood ratio
IFGorb	0.83	0.89	10	0.94	0.93	1.6
IFGtri	0.50	0.78	493	0.97	0.91	2
pSTS	0.61	0.87	148	0.65	0.86	32
aSTS	0.82	0.91	45	0.64	0.87	5
TP	0.86	0.78	0.45	0.0	0.09	12
TPJ	0.84	0.88	3	0.1	0.04	3

Table S4: *p*-values from Student's T tests comparing activations in the non-constituent vs. constituent conditions in the 6 main Regions of Interest.

Region	c03>c01	nc3>c01	c03>nc3	c04>c02	nc4>c02	c04>nc4
TP	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
aSTS	0.008	n.s.	0.02	n.s.	n.s.	n.s.
pSTS	0.02	n.s.	0.01	n.s.	n.s.	n.s.
TPJ	0.07	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
IFGorb	n.s.	n.s.	0.02	n.s.	n.s.	n.s.
IFGtri	0.03	n.s.	0.06	n.s.	n.s.	n.s.

n.s. = non significant ($p > 0.1$)

Fig. S3: Regions where activation *decreased* with constituent size



Sections taken at $x=18$; $y=-24$, $z=44$; image thresholded at $p < .001$ voxel-based uncorrected

4 Regions of Interests and their response profiles

Increasing activation with constituent size					Decreasing activation with constituent size				
ROI name	x	y	z	size (mm3)	ROI name	x	y	z	size (mm3)
TP	-48	15	-27	3768	PrecuneusL	-6	-69	39	4152
aSTS	-54	-12	-12	3512	InfParL	-47	-53	47	3512
pSTS	-51	-39	3	2696	CingAnt	6	45	0	3664
TPJ	-39	-57	18	3328	CingMid	3	-27	39	4040
IFGorb	-45	33	-6	3968	FrontMidR	36	30	45	3384
IFGtri	-51	21	21	1984	Occip	-15	-90	-9	2512
Putamen	-18	16	12	241					

Table S5: Regions of Interest

Regions of interest (ROI) were defined as the intersections of spheres of 10mm radius with the clusters identified by the linear contrasts for constituent size thresholded at voxel-based $p < .001$ (see Tables S1 and S2). The centers of the regions were defined from the normal prose group results for TP, aSTS and TPJ and from the Jabberwocky group results for IFGorb, IFGtri, pSTS. The centers of ROIs showing decreasing activations originate from the negative linear contrast in the normal prose group.

For each region of interest, four graphics are provided:

Time course of the event-related responses. Since a slow-event related design was used, with one word sequence every 12s, the event-related response was computed by selective averaging of the BOLD signal in the 12 seconds time-window following each stimulus, separately for each condition. The figure shows the BOLD signal averaged across all voxels in the region of interest. Variables of non-interest accounting for movement artifacts were regressed out. The error bars indicate between-subject standard errors.

BOLD response amplitudes were computed from the first SPM model, which used a standard hemodynamic response function (hrf). The parameters estimates from the hrf model for each condition and each subject were averaged across all voxels in the region of interest. The graph shows the means and standard errors across subjects. Note that on the x axis, conditions c01 to c12 are organized according to a logarithmic scale of constituent size. The fitting lines are from a regression analysis with linear and logarithmic predictors.

Phases were computed within subjects and for each condition, from the parameters estimates of the sin/cos model (see Methods). The graph shows the circular group means and circular standard error, converted into seconds using the corresponding fraction of the period ($\phi_{\text{seconds}} = \phi_{\text{rad}} \times \frac{12}{2\pi}$). Only conditions in which the phase coherence was significant across subjects by a Rayleigh test ($p < 0.05$) appear on this graph, as the mean phase could not be reliably estimated otherwise. Only values in the range 2.5-8s are shown, corresponding to plausible positive activations given the standard hemodynamic response function.

Circular plots of phases in each condition. Each dot corresponds to the phase of one participant's response in a given condition. Numerical values of the circular group means and circular standard error are shown above each graph (the latter is not defined when the dispersion is excessive). For each condition and group, a Rayleigh test for phase coherence was performed, the p-value of which is indicated above each graph. On each circular plot, a vector corresponding to the mean resultant length is shown. The direction of this vector indicates the mean phase, while its length indicates the coherence across subjects. In most regions, a phase increase can be seen as a progressive rotation of the vector across the conditions c01 to c12.

Fig. S4: Response in Left Anterior Superior Temporal Sulcus (aSTS; -54 -12 -12)

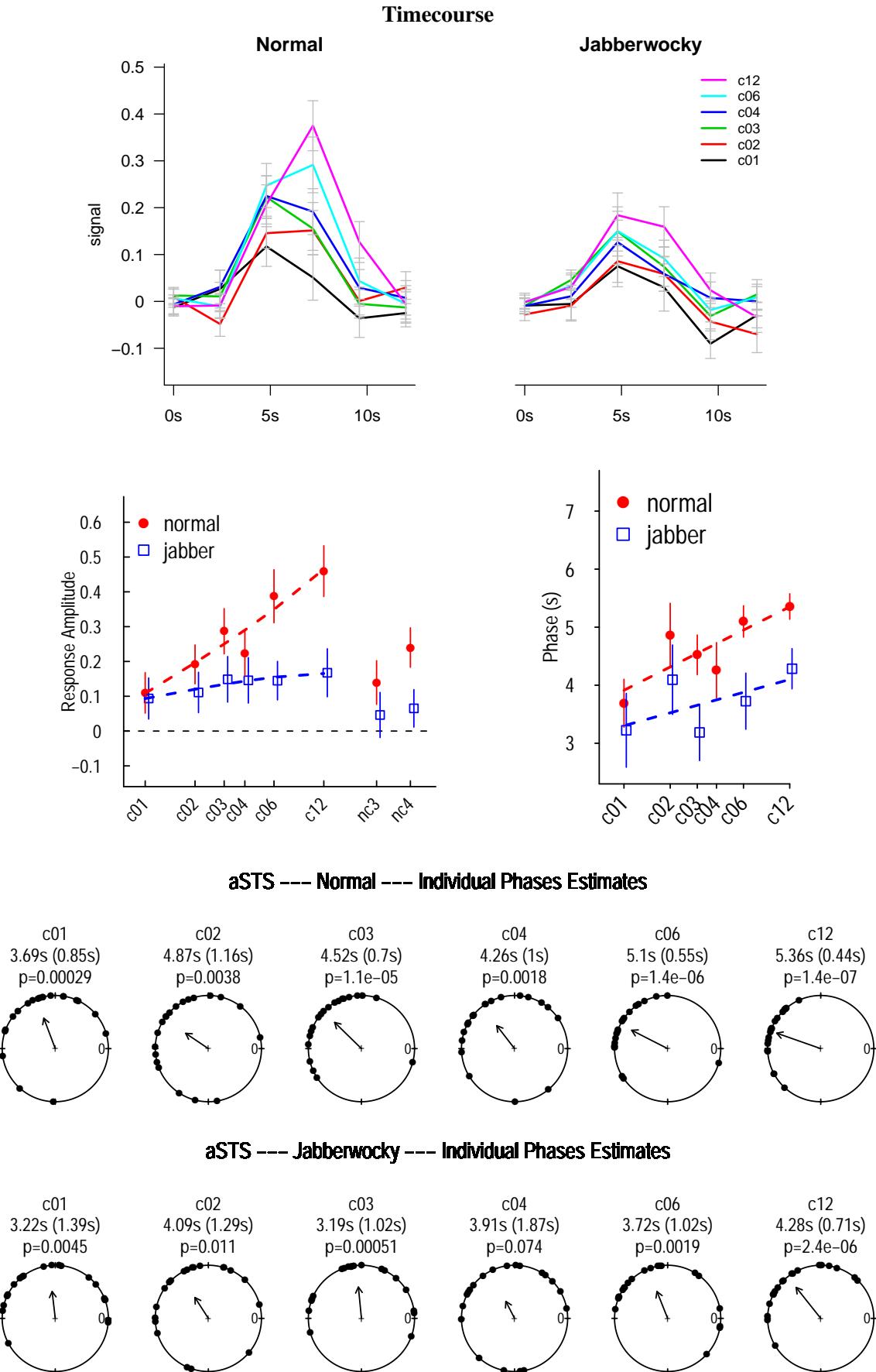


Fig. S5: Response in Left Inferior Frontal Gyrus - Pars Orbitalis (IFGorb; -45 33 -6)]

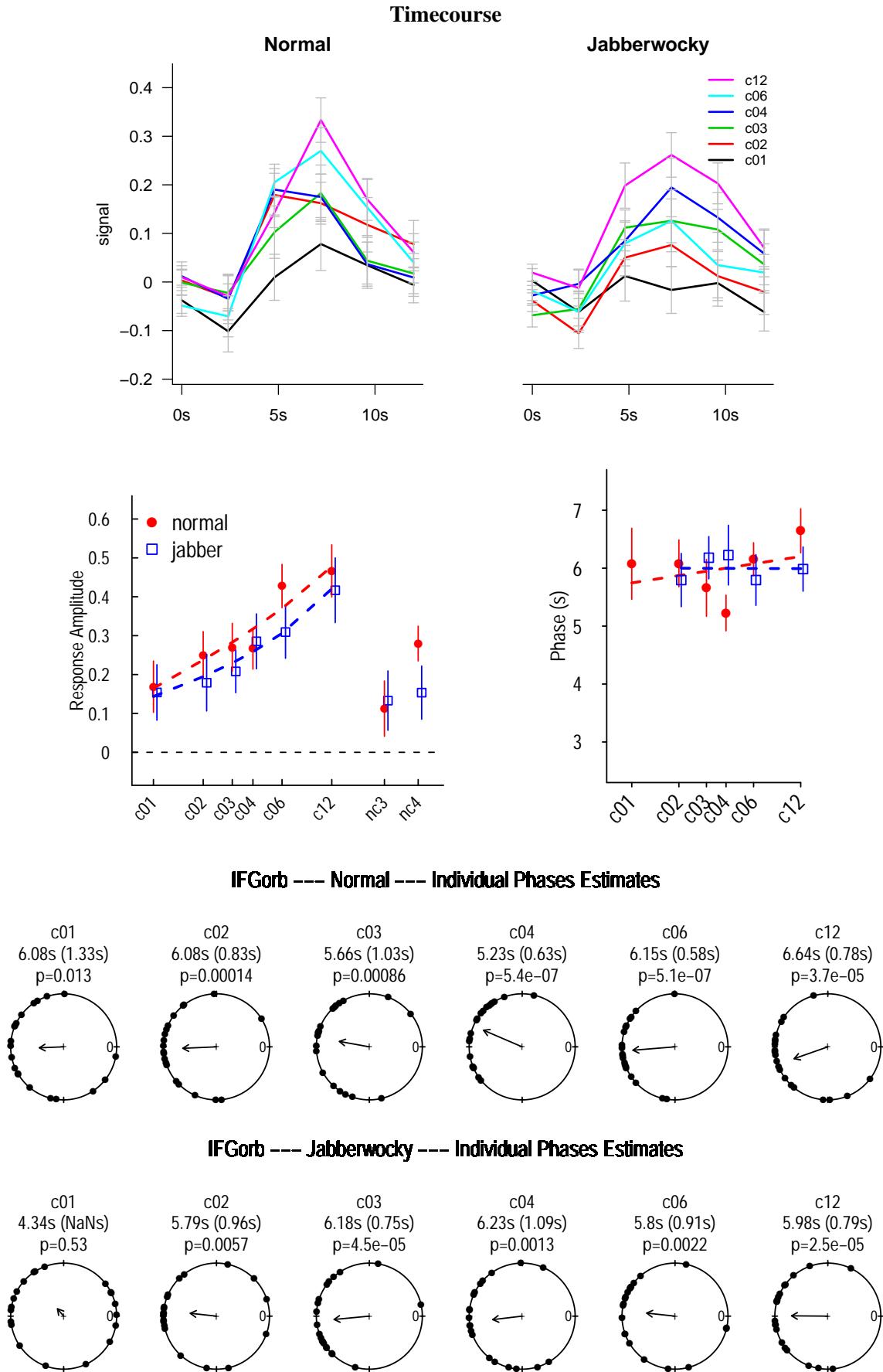


Fig. S6: Response in Left Inferior Frontal Gyrus - Pars Triangularis (IFGtri; -51 21 21)

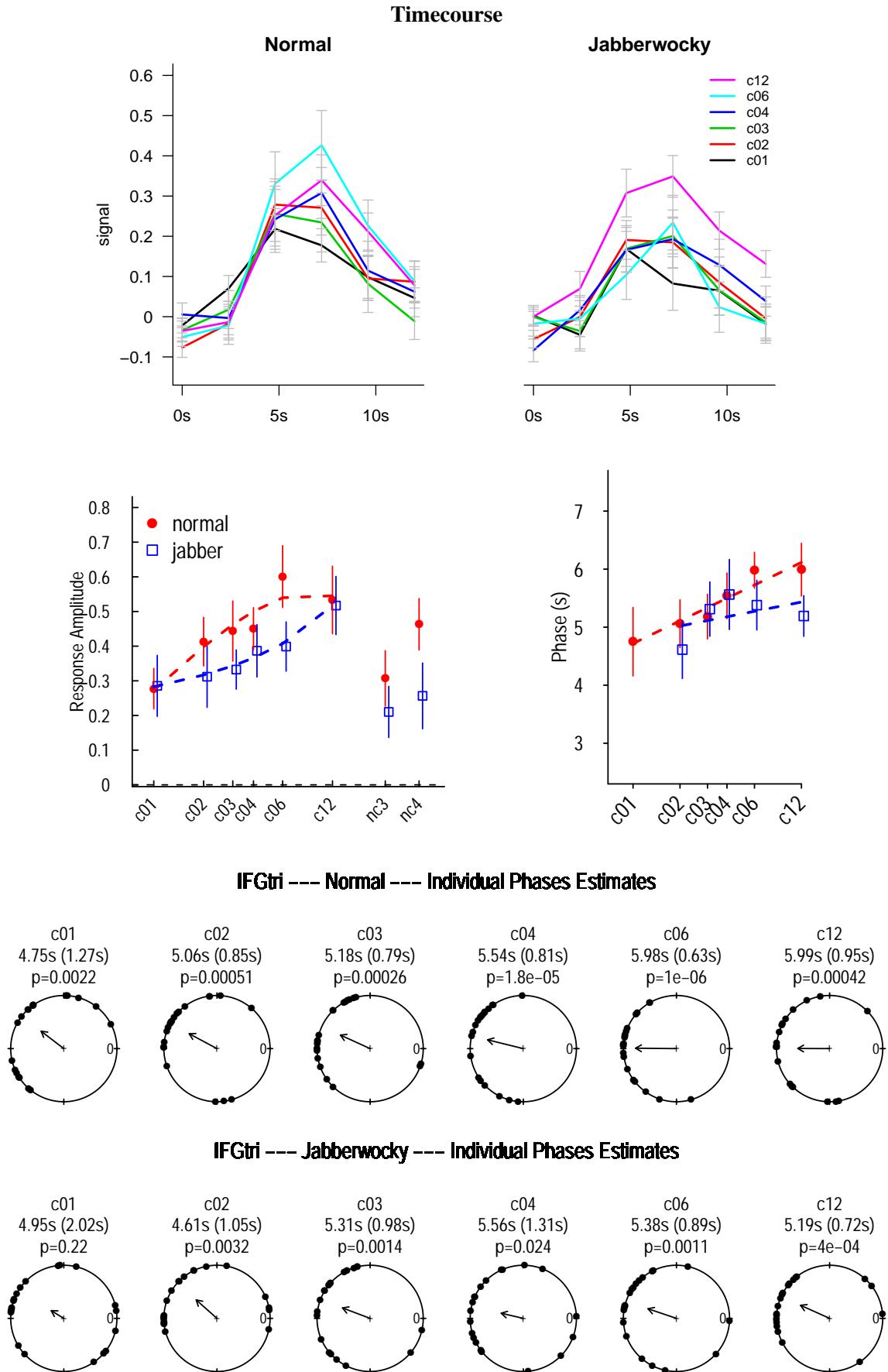


Fig. S7: Response in Left Posterior Superior Temporal Sulcus (pSTS; -51 -39 3)

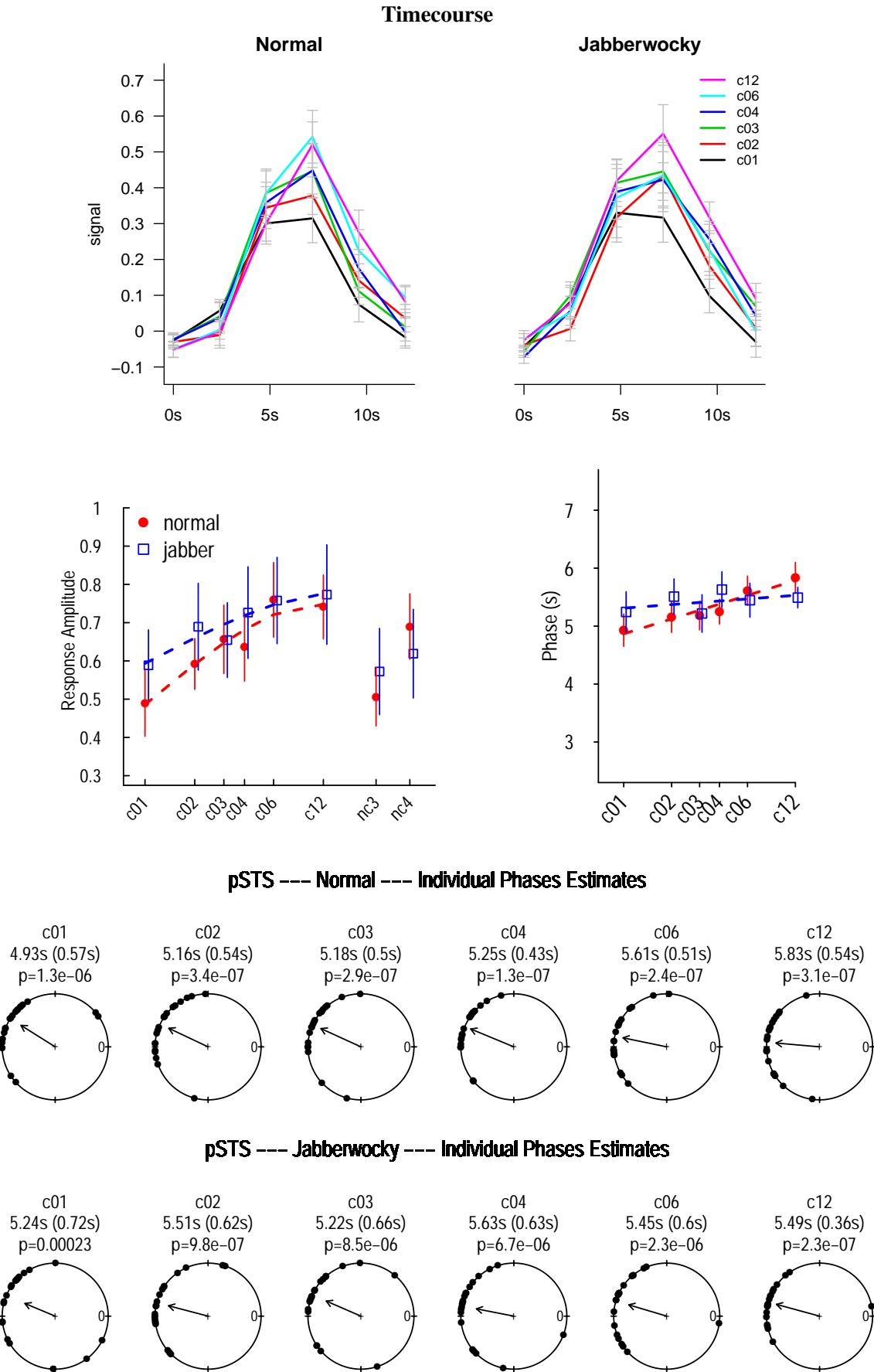


Fig. S8: Response in Left Temporal Pole (TP; -48 15 -27)

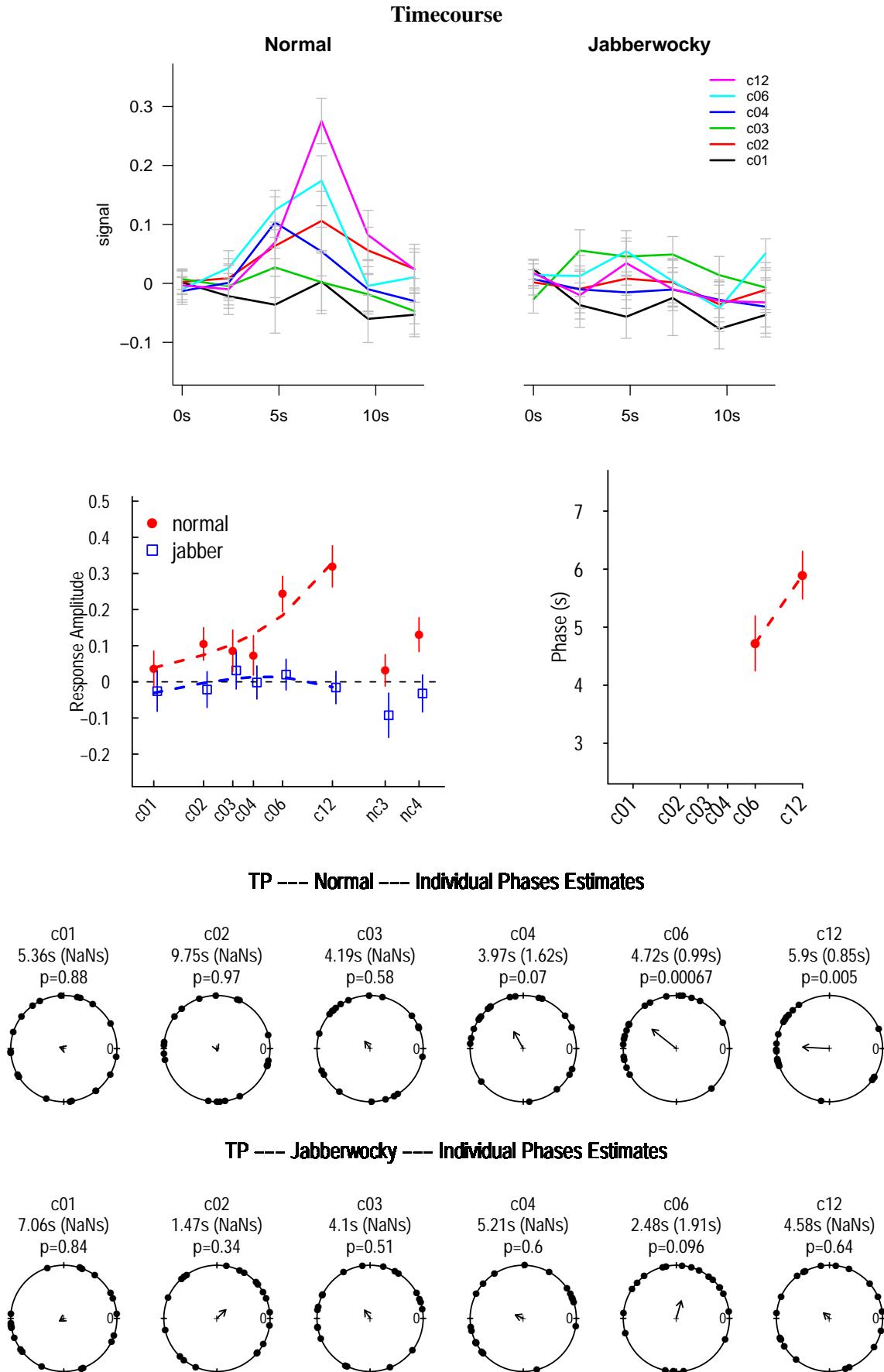


Fig. S9: Response in Left Temporo-Parietal Junction (TPJ; -39 -57 18)

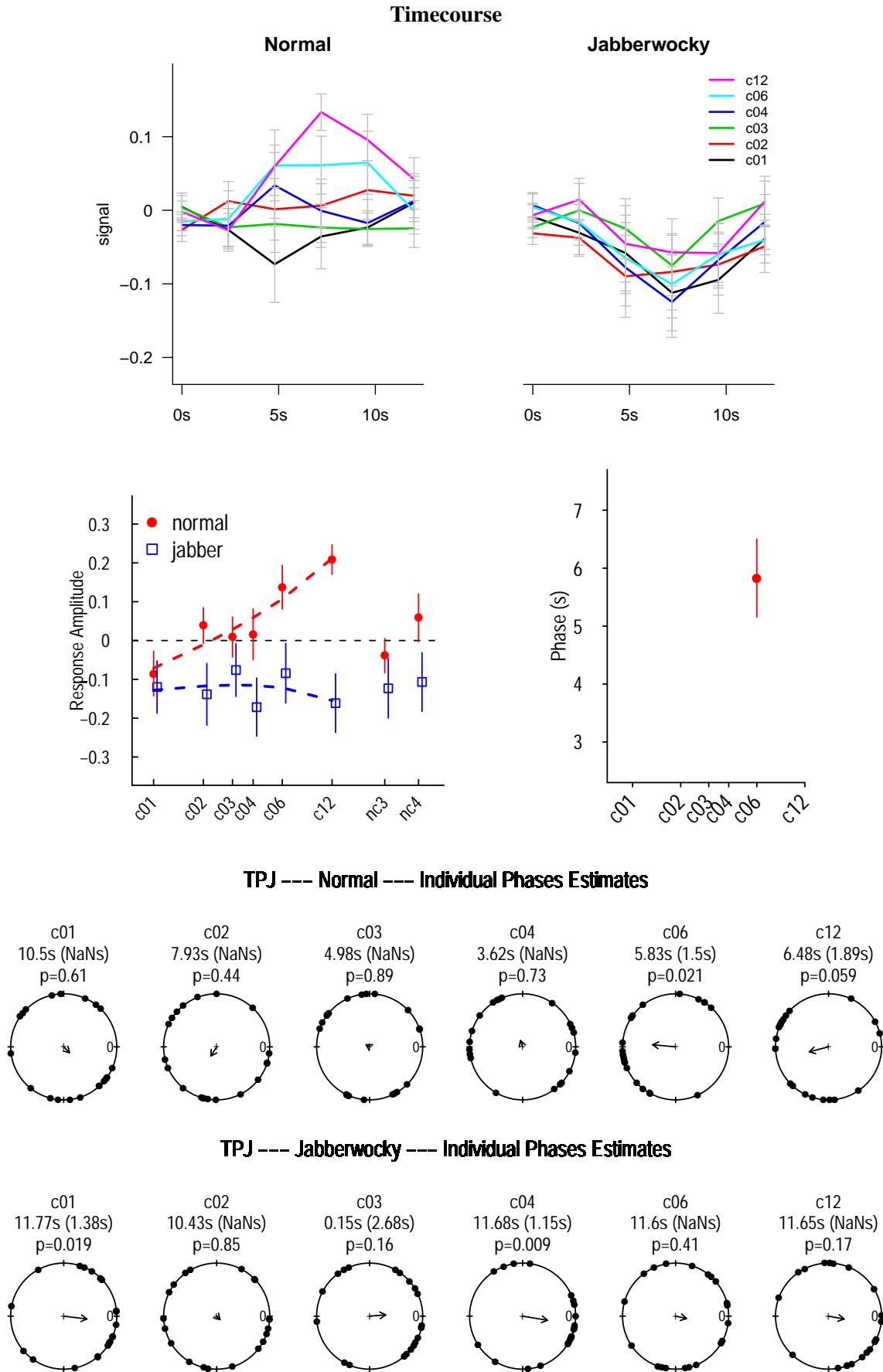


Fig. S10: Response in Left Putamen (-18 16 12)

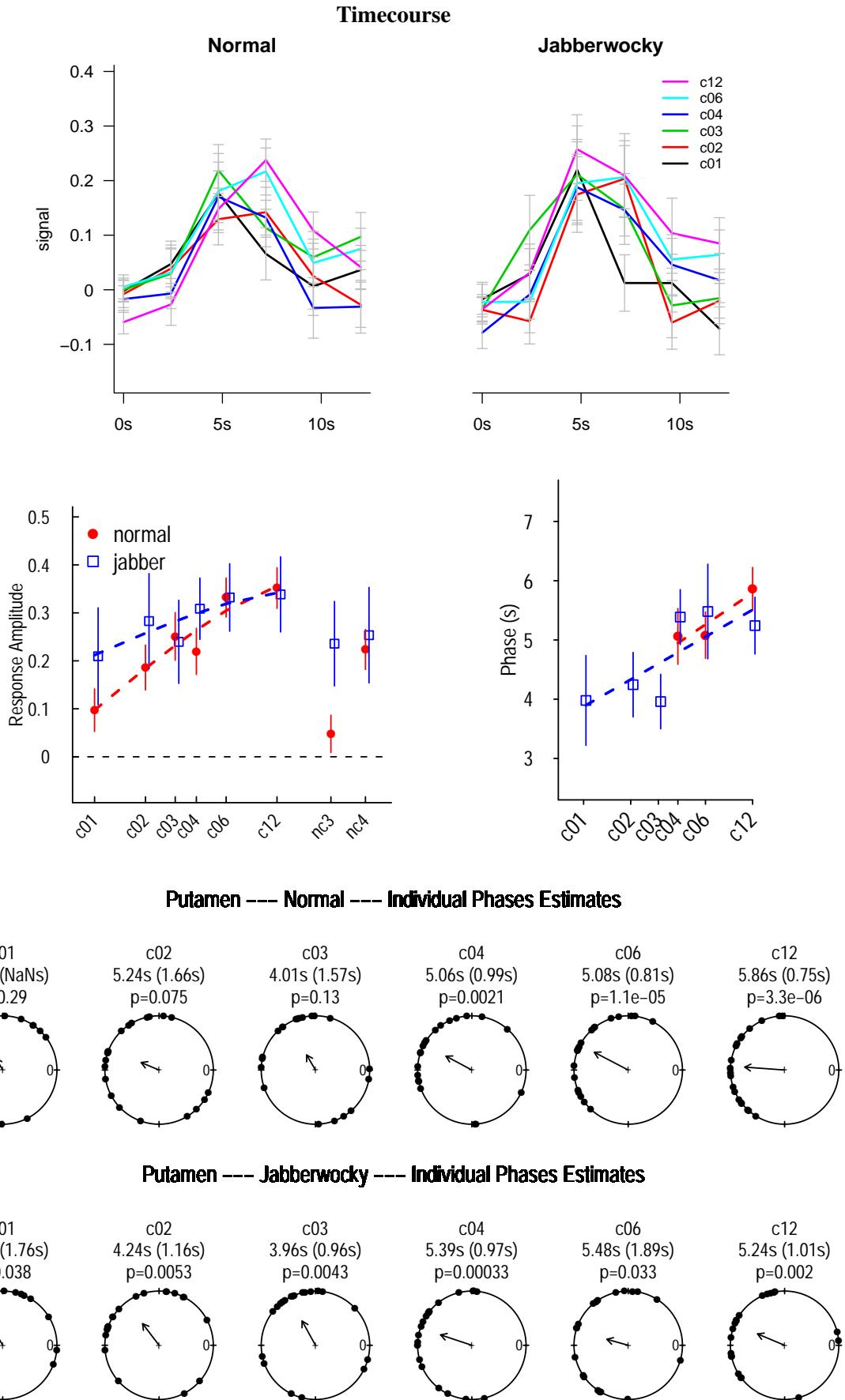


Fig. S11: Response in Precuneus (-6 -59 39)

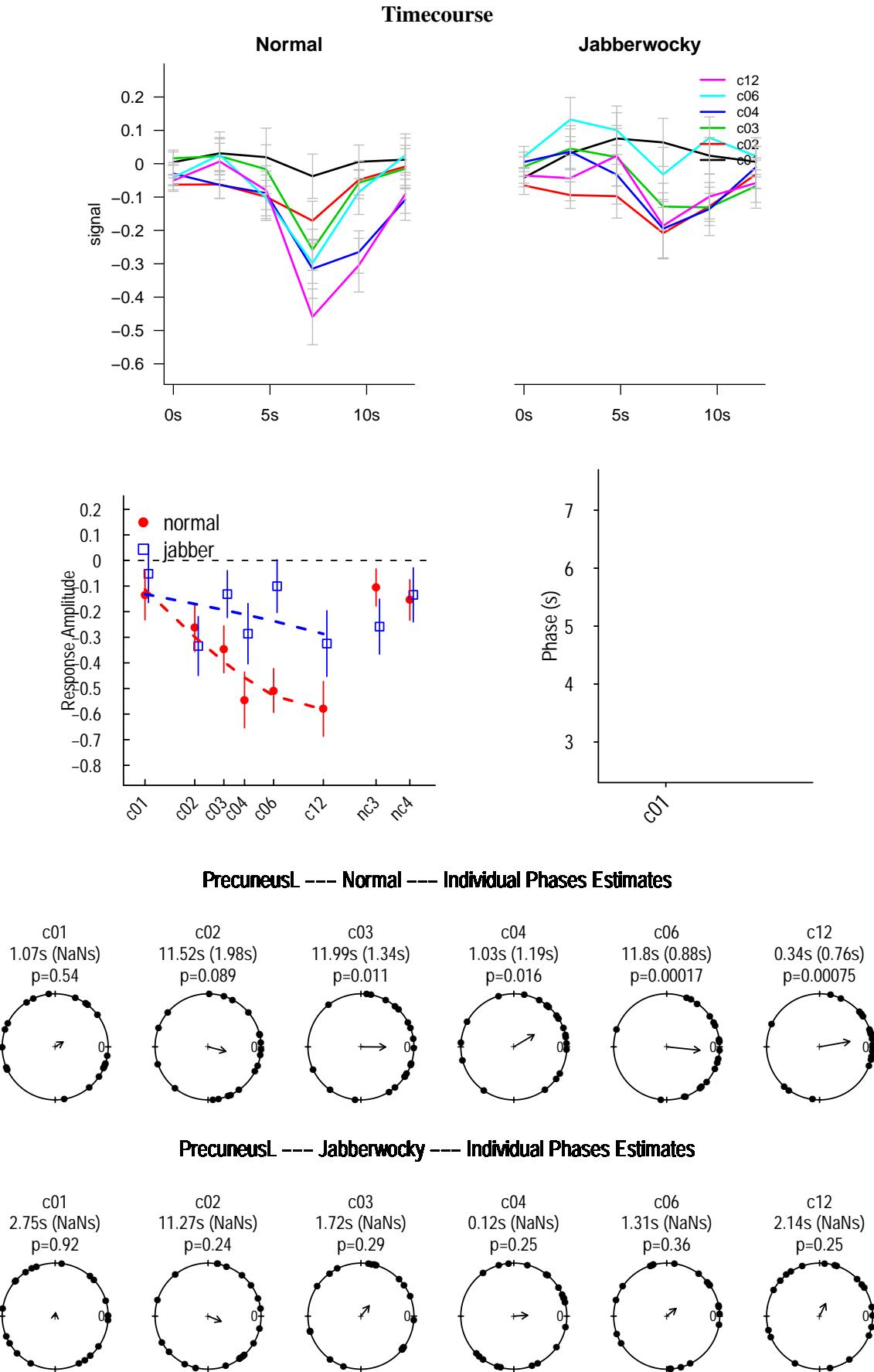


Fig. S12: Response in Left Inferior Parietal Lobule (-47 -53 47)

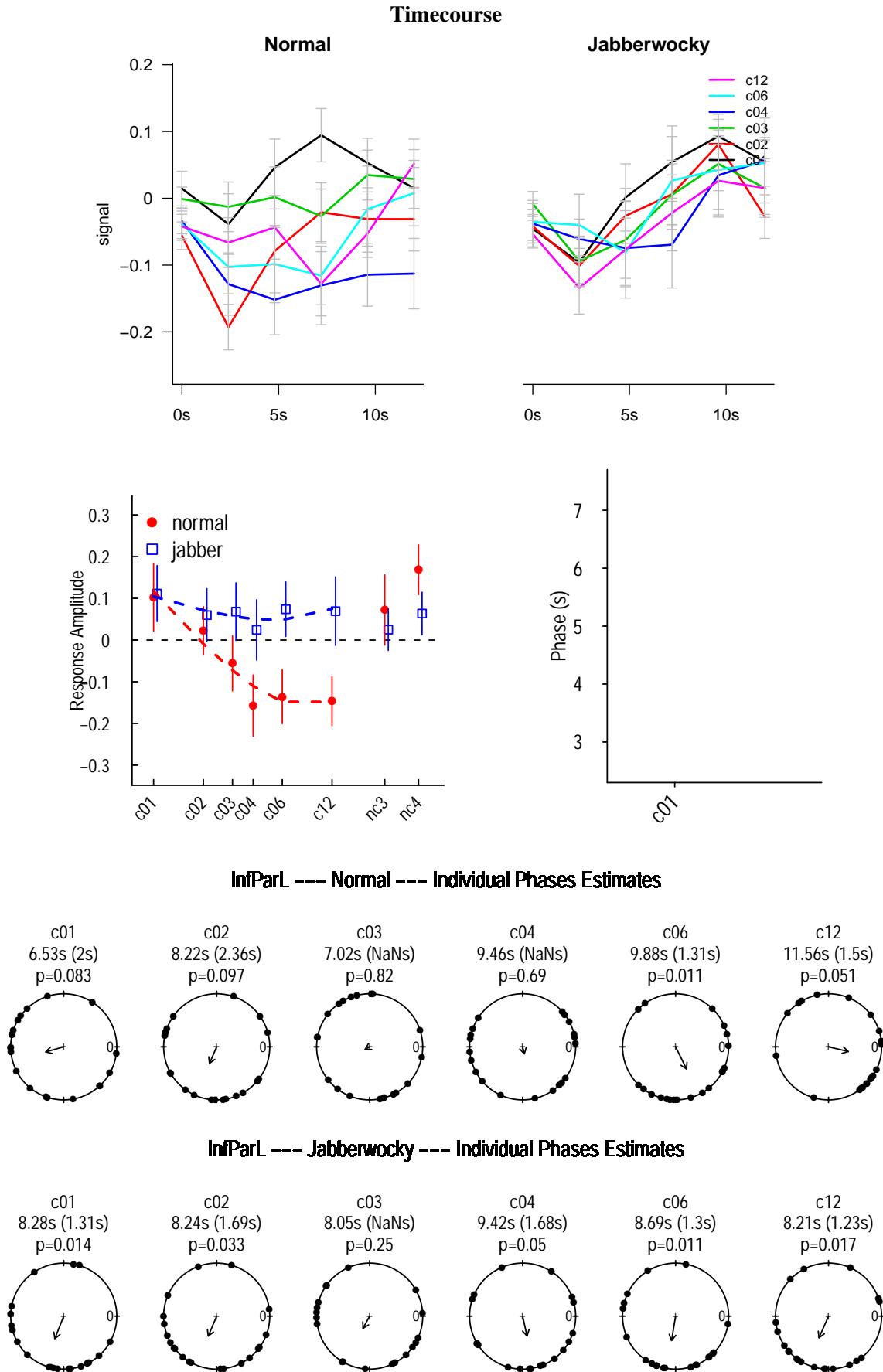


Fig. S13: Response in Anterior Cingulate (6 45 0)

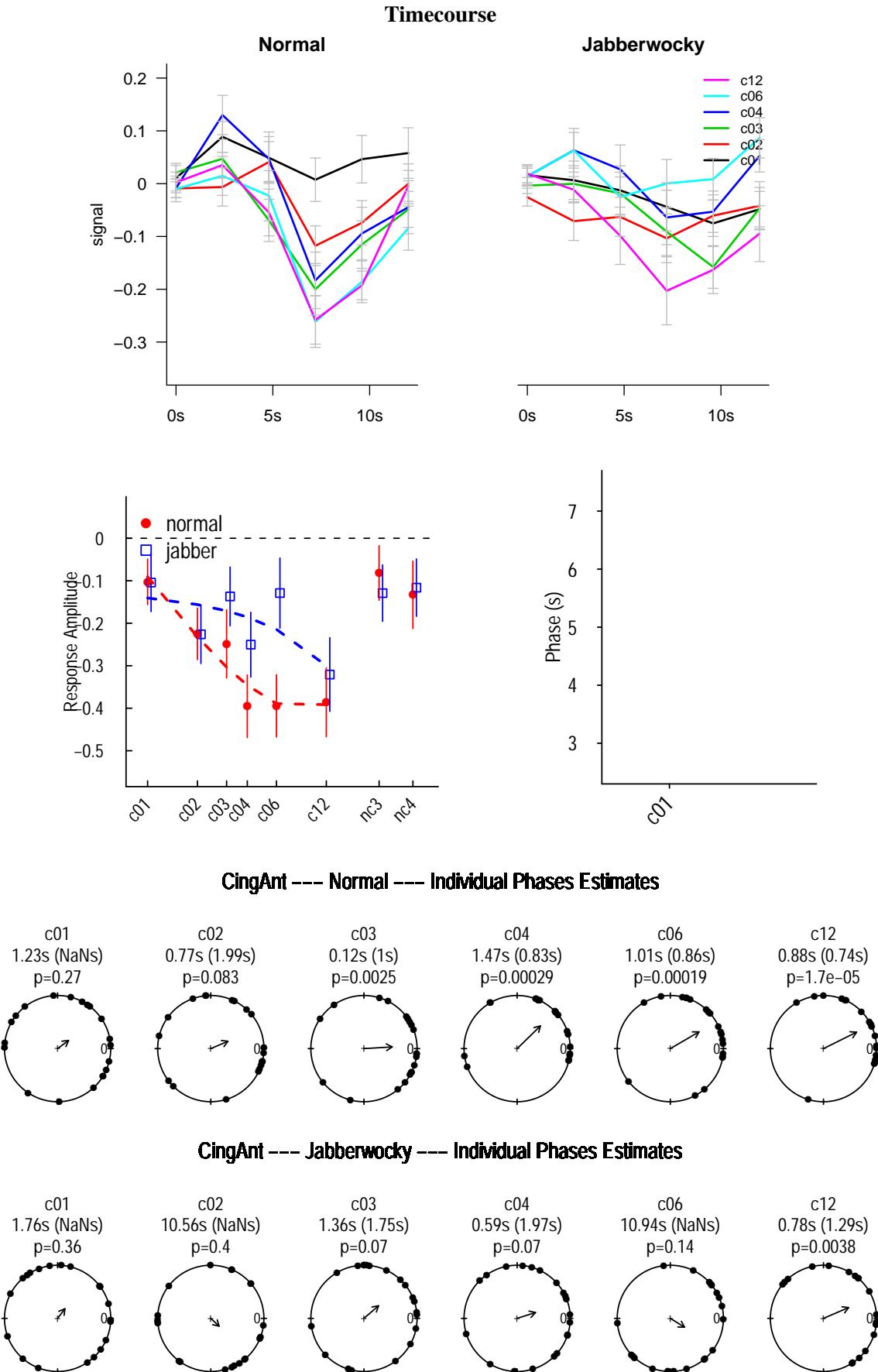


Fig. S14: Response in Middle Cingulate (3 -27 39)

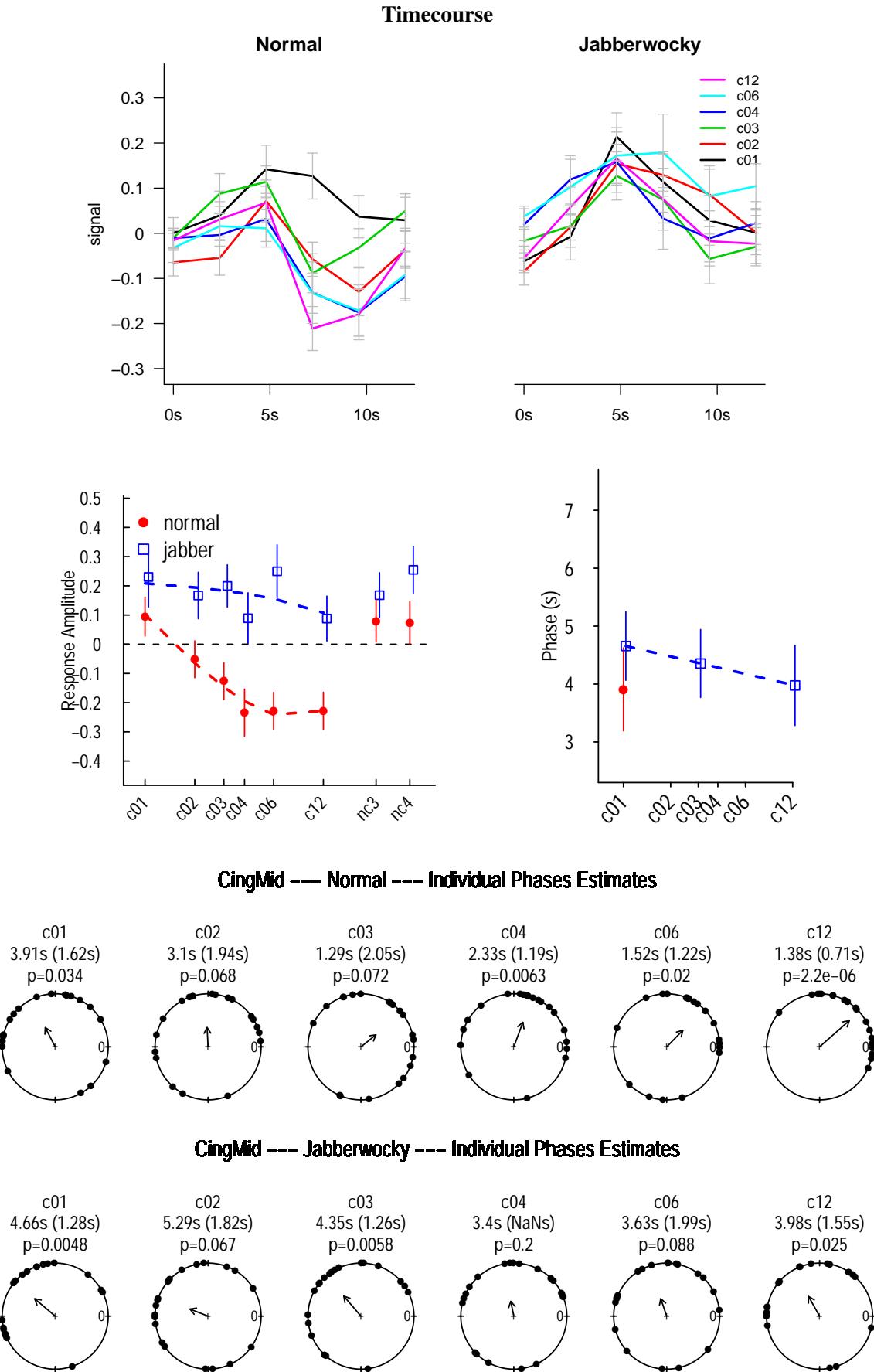


Fig. S15: Response in Right Frontal Middle Gyrus (36 30 45)

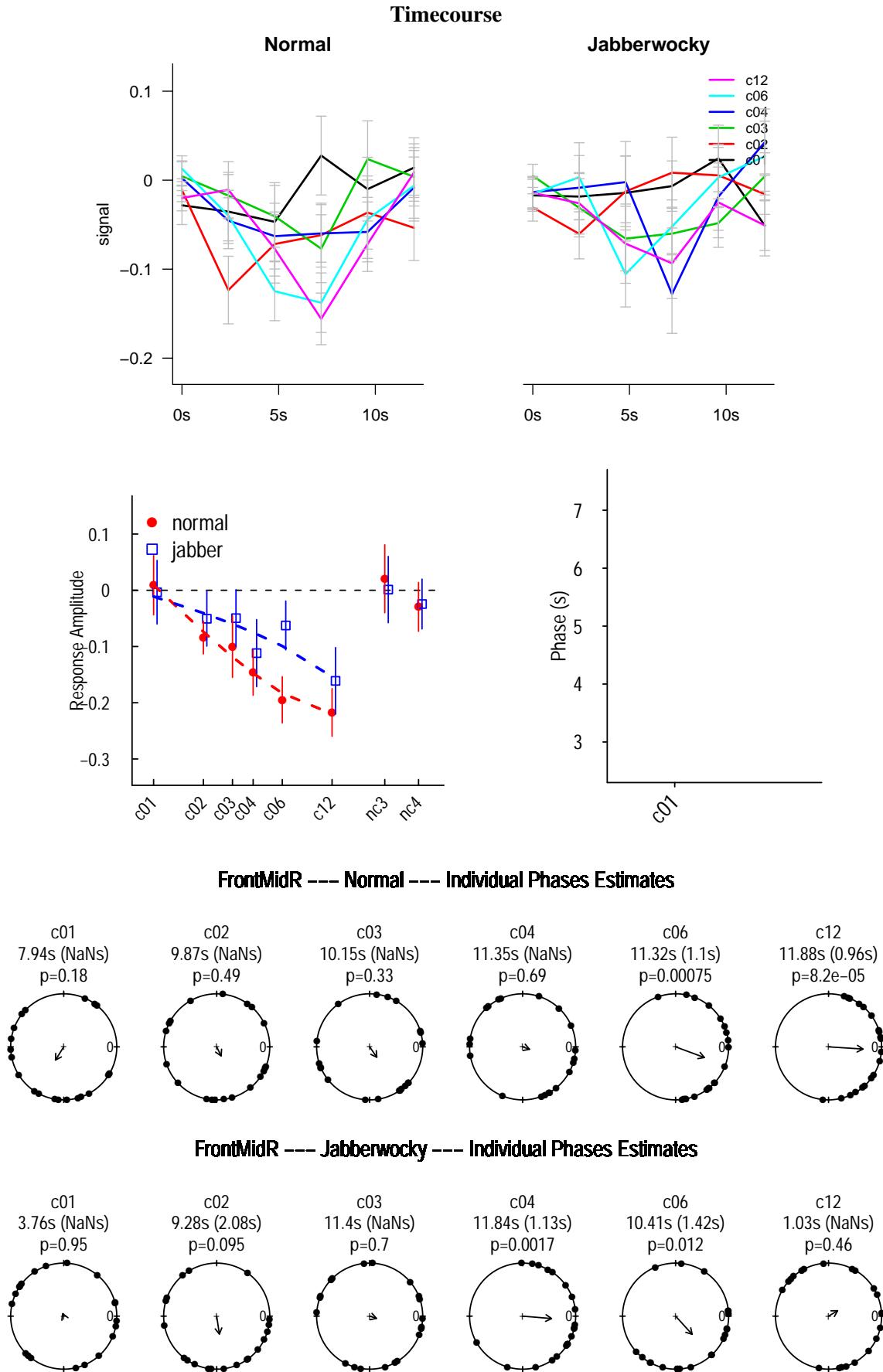
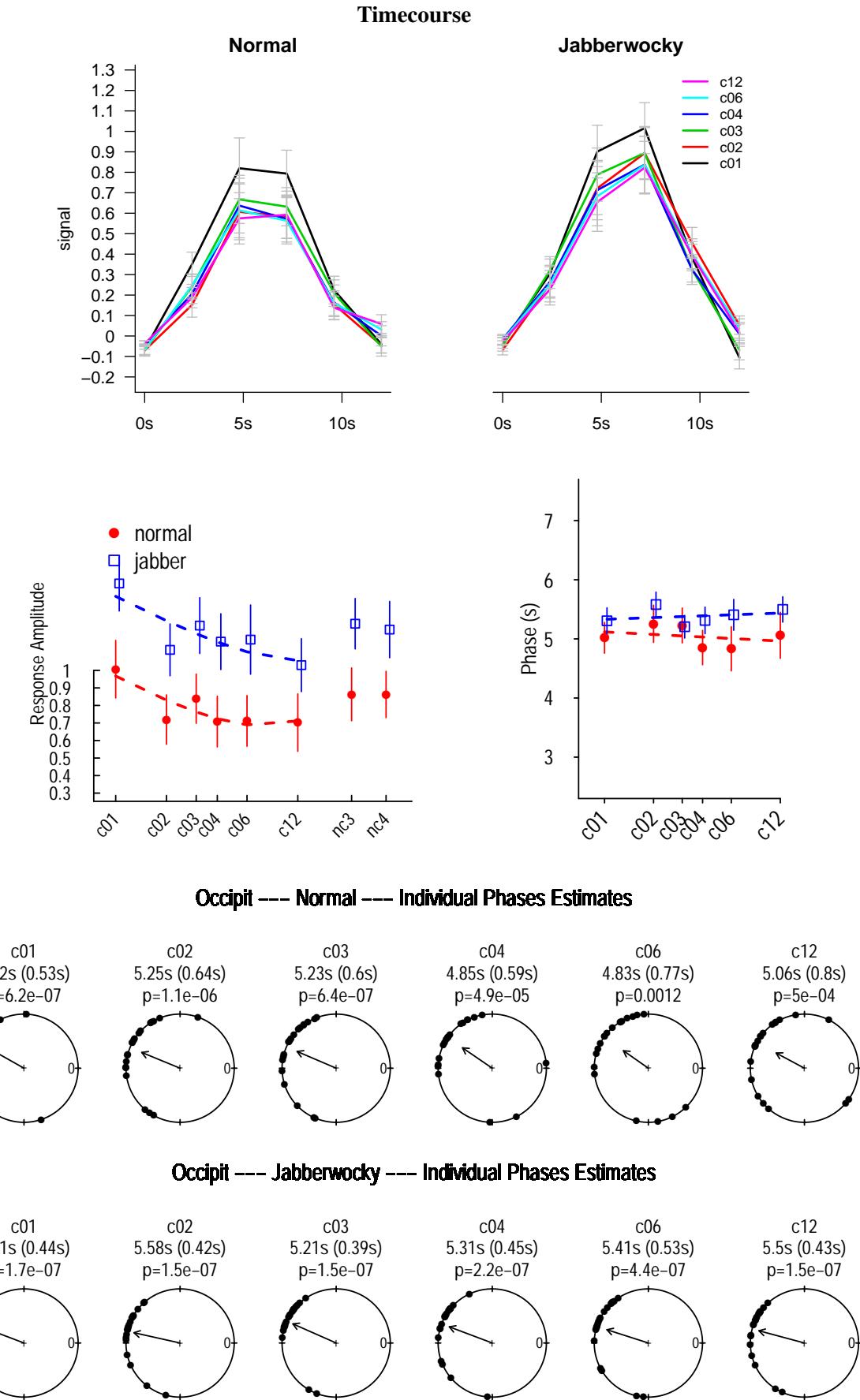


Fig. S16: Response in Left Occipital Middle Gyrus (-15 -90 -9)



5 Sentences from which constituents were extracted

1. Il reçoit un sac de céréales cultivées dans le nord du pays.
2. Elle regarde les éclairs qui traversent le ciel couvert de nuages gris.
3. Le boucher veut savoir si son père veille sur toute sa famille.
4. Il cherche le nom de la fille qui a appelé ses parents.
5. Les élèves veulent résoudre un problème qui demande des connaissances de physique.
6. Le prêtre salue le menuisier qui répare le plafond de la chapelle.
7. Le bijoutier a perdu la boîte de la chaîne en argent massif.
8. Le balayeur respire un air chargé de fines particules de poussière grise.
9. Elle désigne son bras pris dans un gros bloc de plâtre blanc.
10. La mère a peur que son enfant tombe dans la rivière glacée.
11. Il sursaute en entendant le grincement de la lourde porte en bois.
12. Le père quitte la maison pleine de souvenirs de son triste passé.
13. Le comptable vide toutes les pièces de son appartement de jeune célibataire.
14. Il ouvre la portière de sa voiture à la carrosserie très abîmée.
15. Il croit lire son nom écrit sur une des lignes presque effacées.
16. Ils construisent un haut mur de pierres extraites de la carrière voisine.
17. Nous regrettons que vous ayez décidé de quitter notre maison de production.
18. Il déteste la couleur des carreaux de sa deuxième salle de bain.
19. Nous envisageons de bâtir une maison qui dominera la vallée du fleuve.
20. Tes enfants refusent de lire le dernier chapitre de ce livre ennuyeux.
21. La crasse forme un mince film qui couvre leurs visages de travailleurs.
22. Il cuisine en suivant des recettes héritées de son vieil oncle Gustave.
23. Il a peur du sang qui pourrait couler de sa petite égratignure.
24. Il écoute le concierge raconter les aventures du locataire du premier étage.
25. Les étoiles brillent en émettant une lumière inconstante au cours du temps.
26. Il est mort des terribles suites de sa dernière chute de cheval.
27. Elle est passée prendre des nouvelles de la santé de sa nièce.
28. Le garçon déballe les légumes achetés sur la grande place du village.
29. Le jeune docteur rit en entendant son cousin inventer des anecdotes invraisemblables.
30. La bombe explose en faisant entendre une série de petits craquements brefs.
31. Il écoute les légendes sur la naissance de cet ordre de chevalerie.
32. Cet homme tient les comptes des gens qui détestent faire des additions.
33. Le libraire veut que les clients respectent son classement par ordre alphabétique.
34. Le lièvre remue ses longues oreilles couvertes de fin duvet brun clair.
35. Le boutiquier voudrait que tu achètes ces chaussures en peau de serpent.
36. Le voleur préfère attendre que la nuit tombe sur la ville endormie.
37. Il examine les minuscules fissures du bois du rebord de la fenêtre.
38. Le berger caresse la douce laine des moutons de son troupeau paisible.
39. Il sourit en découvrant un paquet tout emballé dans du papier doré.
40. La fillette cherche à comprendre le langage des pétales de pâquerettes roses.
41. Le plombier a renoncé à réparer la fuite du joint en plastique.
42. Elle aime caresser le revers de ses draps en satin de coton.
43. Il croit pouvoir revendre les diamants de la mine de ses parents.
44. Il a tordu les barreaux de sa cellule de la prison régionale.
45. Elle défait les noeuds de la corde qui retient le petit bateau.
46. Elle a accepté que son fils achète une télévision à écran plat.
47. Il dit que tu hésites à couper tes longs cheveux blond cendré.
48. Le vacancier écoute le bruit des vagues qui déferlent sur le rivage.
49. Il compte les mots qui couvrent la page imprimée en petits caractères.
50. Je crois que tu devrais accepter la proposition de ton nouvel associé.
51. Elle a oublié de prévenir la deuxième vendeuse du magasin de chaussures.
52. Il continue à nier que son fils a inventé toutes ces accusations.
53. Ils ont ciré leur magnifique parquet aux lattes en bois de chêne.
54. Le garagiste parvient à extraire le clou enfoncé dans le pneu avant.
55. Le passant examine le luxueux canapé abandonné sur le bord du trottoir.

-
- 56. La cuisinière fait griller des noisettes qui répandent une odeur très appétissante.
 - 57. Elle essuie la sueur qui goutte de son front barré de rides.
 - 58. Le banquier cherche la référence des derniers chèques de ce client dépendant.
 - 59. Il découvre le trou de la souris qui a grignoté sa tartine.
 - 60. Il va voir le bénévole qui taille de larges tranches de pain.
 - 61. Le négociateur écoute le ronronnement du climatiseur de la salle de conférences.
 - 62. Il abandonne la poursuite du petit éléphant aux défenses en ivoire éclatant.
 - 63. Le jardinier redoute les brusques changements de la température de la serre.
 - 64. Il parvient à déchiffrer les indices du visage de son redoutable adversaire.
 - 65. Le joueur sort la carte dissimulée dans la doublure de sa manche.
 - 66. Le soleil va accélérer la fonte de cette mince couche de glace.
 - 67. Son doigt effleure les touches du grand piano décoré de bois précieux.
 - 68. Le pompier sauve le bébé endormi au fond de son berceau blanc.
 - 69. Le peintre nettoie le manche de ses brosses en poils de sanglier.
 - 70. Le voyageur fait coulisser la porte de son compartiment de deuxième classe.
 - 71. Il raye le fond de sa poêle au coûteux revêtement de téflon.
 - 72. Il guette le léger glissement des chaussons de sa femme de ménage.
 - 73. Mon ami aimeraient comprendre les annotations de son professeur de grec ancien.
 - 74. On raconte que cette femme collectionne des bouts de ficelle blanc cassé.
 - 75. Il possède la patience nécessaire à un excellent vendeur de choses inutiles.
 - 76. Le locataire va chercher les clés de son joli appartement si fonctionnel.
 - 77. Le médecin examine les taches sur la peau de son patient terrifié.
 - 78. Cette cliente veut prendre des pilules efficaces contre le mal de tête.
 - 79. Le coureur fait le tour de la piste recouverte de bitume dur.
 - 80. Le garçon choisit un costume de chasseur de grands crocodiles du Nil.
 - 81. Il parvient à annoncer la nouvelle de la mort de son hamster.
 - 82. Tu peux jeter les revues qui traînent sur la table du salon.
 - 83. Je vais élaborer un plan qui permettra de redresser nos récentes pertes.
 - 84. Notre poule pond des œufs à la coquille dure comme du béton.
 - 85. Le fermier dit que sa fille souhaite apprendre à traire les vaches.
 - 86. Il a brisé le bouchon de la bouteille de jus de raisin.
 - 87. Elle écoute la tranquille respiration de son amant couché sur la couette.
 - 88. Il efface les traces de son passage dans le champ de blé.
 - 89. La petite regarde comment son père grille les épis de maïs mur.
 - 90. Il décrit les paysages qui défilent devant ses yeux de voyageur émerveillé.
 - 91. La pluie frappe les ardoises des toits des immeubles de la ville.
 - 92. Elle demande que son frère fasse des ronds de fumée de cigarette.
 - 93. Le notaire consulte les lourds volumes empilés sur les étagères de métal.
 - 94. Le garçon remonte ses lunettes à la monture en plastique bleu clair.
 - 95. Elle a brûlé toutes les lettres de son ancien fiancé trop infidèle.
 - 96. La balle reste coincée dans le fin canon cabossé en plusieurs endroits.
 - 97. Le chasseur vise le cerf déjà blessé à la patte de devant.
 - 98. Il redoute de devoir abandonner tout espoir de guérir avant le printemps.
 - 99. Le libraire trébuche sur le rebord du trottoir couvert de verglas brillant.
 - 100. Le chercheur croit que sa théorie va changer les façons de penser.
 - 101. Elle écoute le feu qui crépite dans la cheminée de marbre gris.
 - 102. Elle recompte les invités qui ont oublié de faire parvenir leur réponse.
 - 103. Il croit pouvoir oublier les beaux moments passés auprès de sa maîtresse.
 - 104. Ses enfants mettent des disques qui évoquent des jours du passé lointain.
 - 105. Elle feuilleste le dernier catalogue de la société de vente par correspondance.
 - 106. Il râve en rongeant un bout de son ongle déjà bien abîmé.
 - 107. Elle cherche à séduire ce garçon très ami avec son amant regretté.
 - 108. Les applaudissements retentissent dans le pieux silence de la salle de concert.
 - 109. Elle sent que les larmes coulent sur ses joues rougies de fièvre.
 - 110. Les prisonniers essaient de communiquer en utilisant la lumière de leurs lampes.
 - 111. Sa collègue ramasse une écharpe tombée de la chaise à roulettes noires.
 - 112. Le postier sourit en faisant tourner la lourde poignée de métal poli.
 - 113. Le pianiste plaque le dernier accord de cette sonate difficile à jouer.

-
- 114. Le coureur masse sa cheville couverte de bandages de tissu jaune pâle.
 - 115. Elle espère revoir son amant parti au chevet de sa femme malade.
 - 116. La fée promet de faire apparaître un marteau au manche en cristal.
 - 117. Il prétend que chaque participant pourra gagner une statue en chocolat blanc.
 - 118. La stagiaire rêve de dormir sur un matelas de pétales de roses.
 - 119. Il aborde les clients qui hésitent devant les rayonnages chargés de vêtements.
 - 120. Cet élève a commencé à apprendre tous les mots de son dictionnaire.
 - 121. Un frisson parcourt son dos offert aux regards de la foule hostile.
 - 122. Le malade refuse de prendre les médicaments vendus dans les pharmacies ordinaires.
 - 123. Le touriste déchiffre toutes les publicités des interminables couloirs du métro parisien.
 - 124. Elle sursaute en entendant le grincement des planches du parquet mal entretenu.
 - 125. La fourmi escalade des monceaux de pelures de pommes de plusieurs variétés.
 - 126. La fermière trait la vache aux yeux brillants comme de petites billes.
 - 127. Cet élève consulte un volume aux pages constellées de taches de café.
 - 128. Il écoute le bruit de la pluie qui bat contre le carreau.
 - 129. Le contrôleur regarde le voyageur fouiller dans son sac rempli de prospectus.
 - 130. Le professeur interroge les élèves qui bavardent dans les rangs du fond.
 - 131. Le chat joue avec la pelote qui vient de tomber du bureau.
 - 132. Le peintre propose de refaire la décoration de la salle à manger.
 - 133. Le touriste ouvre son portefeuille qui commence à déborder de papiers inutiles.
 - 134. Le serveur prend la commande des clients assis près des toilettes publiques.
 - 135. Il élabore un plan de restructuration de la compagnie qui fait faillite.
 - 136. Il explique que son inspiration vient de ses voyages à la mer.
 - 137. La sonnerie interrompt les méditations du sage assis sur un coussin gris.
 - 138. Elle respire le parfum des roses qui ornent la table du salon.
 - 139. Le chorégraphe réunit les danseurs qui veulent faire partie du prochain ballet.
 - 140. La fille sourit en comprenant que son fils veut surprendre son père.
 - 141. Il pâlit en écoutant les détails de la mort de son épouse.
 - 142. Le cuisinier remue la sauce qui cuit dans une casserole en acier.
 - 143. Le rescapé nettoie les plaies qui risquent de provoquer une infection grave.
 - 144. Elle a égaré le cartable qui contenait les copies du dernier contrôle.
 - 145. Il refuse de supporter la fumée des cigarettes de ses voisins impolis.
 - 146. Il craint de manquer le train qui doit partir à quatre heures.
 - 147. Sa main heurte la tasse posée sur le bras du fauteuil rouge.
 - 148. Le garçon lance un caillou qui ricoche sur la surface du bassin.
 - 149. Le romancier a fini le manuscrit promis à son éditeur si impatient.
 - 150. Le médecin traverse la rivière qui coule devant sa maison de campagne.
 - 151. Le surveillant éteint les lumières du couloir des internes du lycée français.
 - 152. Le magicien fait disparaître les bonbons étalés sur le sol du théâtre.
 - 153. Les larmes coulent sur les joues de la fille qui pleure doucement.
 - 154. Elle coupe le fil qui pend de sa robe en soie noire.
 - 155. Le vieux marin divague en buvant des verres de rhum des Antilles.
 - 156. Le garçon répond que sa soeur cherche un tube de colle blanche.
 - 157. La femme porte un sac alourdi de bouteilles de jus de fruit.
 - 158. Paul tente de raisonner sa soeur qui se vexe sans bonne raison.
 - 159. Les branches brûlent en lançant des étincelles qui illuminent la nuit sombre.
 - 160. Elle cherche des gants qui puissent protéger ses mains de pianiste friileuse.
 - 161. Elle marche en balançant ses hanches moulées dans une jupe de satin.
 - 162. Le passant grave une croix qui entaille le tronc du peuplier imposant.
 - 163. Les guerres volent la jeunesse de ces hommes qui devraient vivre heureux.
 - 164. La reine boit un thé qui calme les irritations de sa gorge.
 - 165. Pierre nie le manque de place dans cette chambre sous les toits.
 - 166. La banque exige que le client ferme le compte de sa fille.
 - 167. La balle tombe en éclaboussant la dame qui longe le trottoir mouillé.
 - 168. Les meurtres effrayent les gens qui vivent près de ce bois obscur.
 - 169. Le juge dit que Charles a le droit de voir son fils.
 - 170. La fillette compte les gouttes qui tombent sur le sol de pierre.
 - 171. La cire laisse des traces qui durcissent en formant des traînées blanches.

172. La femme porte le deuil de son mari mort à la guerre.
173. Le seau fuit en trempant la paille de la grange à foin.
174. Les traits forment des taches qui tranchent sur la blancheur du papier.
175. Le père jette le tas de lettres envoyées à sa jolie fille.
176. Le chanvre est une fibre qui donne de la toile trop réche.
177. Le promeneur lâche la laisse de son chien qui aboie sans arrêt.
178. Le concierge déteste ce genre de livres qui lassent les lecteurs cultivés.
179. Il tape sur le clou qui fend le bois de la commode.
180. Une taupe creuse des trous qui défigurent le jardin de la voisine.
181. Il joue le rôle du comte qui meurt en maudissant ses enfants.
182. Le rat sort de son trou creusé dans le mur du salon.
183. Le fils crache en regardant sa mère qui garde un silence agacé.
184. Il cherche à joindre le curé de la paroisse de son parrain.
185. Le garçon refuse de manger de la viande pleine de nerfs blanchâtres.
186. Il écrit sur un bloc enfoncé dans la poche de sa veste.
187. Il regarde ses enfants choisir les jouets qui finiront dans la caisse.
188. La chanteuse jette le dé qui roule sur la table de jeu.
189. Le gel forme du givre qui luit sur les feuilles de laurier.
190. Elle dit que les saints vivent sur les nuages du ciel bleu.
191. Il entre sur la scène inondée de la lumière des projecteurs puissants.
192. Ils ont découvert la bactéries qui a causé des épidémies de grippe.
193. Ils ont construit une cabane de branchages couverts de feuilles encore vertes.
194. Son fils regarde une émission sur la migration des pigeons de Paris.
195. Il vérifie les installations qui assurent la sécurité des passagers du vol.
196. Le journaliste écrit un article qui dénonce les fraudes du maire sortant.
197. Le locataire raconte que la gardienne adore épucher les pommes de terre.
198. Il rate le virage qui marque le début du circuit en montagne.
199. Il a peur que les talons rayent le parquet de bois tendre.
200. Le professeur dessine un diagramme incompréhensible pour ses élèves épuisés de fatigue.

6 Sentences from which non-constituents were extracted

1. Le moineau qui gazouille sur la branche du pommier a réveillé Paul.
2. Ce beau tapis tissé de longs poils de lama a coûté cher.
3. Le pèlerin fatigué par son voyage sur les routes cherche un hôtel.
4. La femme du concierge de notre immeuble de prestige consulte des voyantes.
5. La récente perte de crédibilité de ses associés maladroits inquiète mon chef.
6. Le nouveau directeur de la banque de mes partenaires est très ambitieux.
7. Le sifflement de notre radiateur qui commence à fonctionner agace mon mari.
8. Notre voisin atteint par un cancer du poumon droit perd ses cheveux.
9. Le joli air qui retentit dans le matin silencieux plaît à tous.
10. La fête de notre bruyant locataire qui déménage demain provoque des disputes.
11. La chaude couleur du blé qui mûrit au soleil apaise les promeneurs.
12. Les tempêtes qui agitent la surface du lac bleu effraient mon amie.
13. Les livres rangés sur le meuble en fer rouillé ont coûté cher.
14. La révélation des secrets des habitants de ces quartiers a choqué marie.
15. La construction de ce monument consacré aux enfants aveugles a duré longtemps.
16. Les yeux du lion dessiné sur le tableau blanc sont très réussis.
17. La lumière des néons du plafond de ces couloirs modifie les couleurs.
18. Les vibrations de la vitre au fond du bureau dérangent la secrétaire.
19. La couleur de cette encre achetée le mois dernier fatigue les yeux.
20. Les réparations du robinet de la salle de bain ont été difficiles.
21. Le procès de ce bandit qui vole des montres passionne les gens.
22. Le soldat qui dort dans le lit de camp lavera vos chaussures.
23. Le lait de ces splendides vaches de race charolaise tourne plus vite.
24. Le nettoyage du grenier de notre maison de campagne occupera les enfants.

-
- 25. La fleuriste qui a préparé cet arrangement de roses appelle une collègue.
 - 26. Le professeur qui a organisé cette conférence de médecine répond aux questions.
 - 27. Les frites servies dans ce restaurant de la banlieue dégoulinent de graisse.
 - 28. La boulangère qui mange un gâteau au chocolat blanc attend un visiteur.
 - 29. Le professeur qui surveille toutes les épreuves du concours prend des notes.
 - 30. Le jeune homme qui a apporté un énorme bouquet adore les fleurs .
 - 31. Un prisonnier lassé de résister à ses médecins têtus avalerait les tranquilisants.
 - 32. Le concierge curieux de connaître la maîtresse du locataire espionnent leurs rendez-vous.
 - 33. Le garçon qui a ramené le courrier du jour ouvre les enveloppes.
 - 34. La dame qui veut nettoyer les toilettes du grenier énerve mes parents.
 - 35. Ces contrebandiers arrêtés par des policiers habillés en civils enfreignent la loi.
 - 36. Les promeneurs qui ont poussé la porte du magasin achètent le livre.
 - 37. Ce contrôleur qui dérange les voyageurs du train omnibus ruine mon trajet.
 - 38. La ceinture autour des hanches du coureur de sprint gêne ses mouvements.
 - 39. Le médecin qui a signé la feuille de soins recommande ces médicaments.
 - 40. Les hésitations du chef de la meute de loups perturbent ses compagnons.
 - 41. Cet avocat qui discute avec la maîtresse de maison rénoeve son cabinet.
 - 42. Les retards des collaborateurs qui travaillent sur ce dossier décalent nos prévisions.
 - 43. La boulangère qui tient la boutique de ma rue accumule les ennuis.
 - 44. Le bétail du berger qui habite dans le quartier ravage nos pelouses.
 - 45. Les convives invités par le mari de ma tante partiront plus tôt.
 - 46. Ces émissions qui passent après le repas du soir intéressent les enfants.
 - 47. Les élèves désireux de faire progresser leurs langues étrangères cherchent des correspondants.
 - 48. Cet hôtelier perché sur un escabeau de métal rouillé fixe une pancarte.
 - 49. Les neveux du buraliste qui vend de la réglisse apprennent le japonais.
 - 50. Ce cavalier qui vient chaque jour de la semaine convoite la coupe.
 - 51. Ce collaborateur au visage marqué de restes de varicelle joue au bridge.
 - 52. Les joueurs qui ont gagné la partie de cartes désirent partir maintenant.
 - 53. Ce cadenas fondu dans du métal difficile à trouver coûtera plus cher.
 - 54. Les yeux de cette couturière fatiguée de trop travailler voient moins bien.
 - 55. Le marchand avide de séduire des clients de qualité présente ses produits.
 - 56. La voyageuse aux mains rougies par le froid coupant sort ses gants.
 - 57. Cette personne responsable de maintenir le calme des enfants cherche une solution.
 - 58. La girafe au cou constellé de taches marron foncé cligne des yeux.
 - 59. Cet électricien auteur de travaux respectés dans le monde prépare une conférence.
 - 60. Le jardinier qui a planté ces géraniums rouge vif regrette son choix.
 - 61. Le serveur qui apporte les boissons destinées aux invités tombe par terre.
 - 62. Cet enquêteur aux méthodes tirées de romans de gare résoudra nos problèmes.
 - 63. Les conseillers du maire élu aux élections de mai avouent leurs erreurs.
 - 64. Le gaz qui fuit de la bomonne de fonte a asphyxiée Marie.
 - 65. Le chef de ce restaurant classé dans les guides rape des carottes.
 - 66. Le cavalier imprégné du romantisme des livres de contes enfourche son cheval.
 - 67. Cette araignée qui tisse des toiles de soie fine dégoûte ma mère.
 - 68. Le présentateur de la chaîne de télévision par satellite annonce la nouvelle.
 - 69. Cette demoiselle qui baisse ses yeux de biche apeurée raconte des mensonges.
 - 70. Ce conducteur qui refuse de prendre plus de repos causera des accidents.
 - 71. Cet ouvrier élu meilleur pâtissier de ce quartier animé refuse de parler.
 - 72. Le notaire enfermé dans son étude sans aucune fenêtre perd ses couleurs.
 - 73. Les talons des chaussures de ma femme si élégante rayent les parquets.
 - 74. Le procureur qui instruit le procès des agressions récentes pose une question.
 - 75. Les insectes qui vivent dans les recoins très sombres sortent la nuit.
 - 76. La promenade le long de la falaise de craie a épuisé Jean.
 - 77. Ce boutiquier qui détestait les hésitations des clients indécis a fait faillite.
 - 78. Le plombier qui a installé les joints du lavabo forme un apprenti.
 - 79. Le machiniste qui porte un pantalon couvert de boue travaille le jeudi.
 - 80. Le greffier qui enregistre les plaintes des nouveaux arrivants a perdu patience.
 - 81. Le livre qui sert à caler cette lourde armoire pèse deux kilogrammes.
 - 82. Le pompier qui a sauvé le bébé de Paul accepte une bière.

-
- 83. La secrétaire qui a annulé les entrevues prévues demain doit rappeler Jean.
 - 84. Ce criminel qui a braqué une banque de quartier protège ses complices.
 - 85. Cette serveuse curieuse de connaître le passé du client prend sa commande.
 - 86. Le clochard aux pieds fendus par des crevasses anciennes demande des chaussures.
 - 87. Ce fleuriste spécialisé dans les compositions pour les mariages présente ses prix.
 - 88. Ce meunier qui doit réparer les ailes du moulin consulte son entourage.
 - 89. Le meurtrier accusé de plusieurs assassinats de vieilles dames étonne les enquêteurs.
 - 90. Cet ustensile affuté avec une meule de pierre rugueuse coupe bien mieux.
 - 91. Les documents qui encombrent ma valise à roulettes spéciales viennent du ministre.
 - 92. Le bijoutier qui a confectionné ma bague de fiançailles réalise des miracles.
 - 93. Le patient qui recrache toutes ses pilules de calmant contrarie les infirmières.
 - 94. Ce comédien qui prend quelques minutes de repos mérité passe la serpillière.
 - 95. Le crocodile qui vient de sortir du fleuve boueux terrorise les touristes.
 - 96. Notre ami qui écrit des poèmes sur la nature cueille des pâquerettes.
 - 97. Le mari de la conseillère qui organise le dîner craque des allumettes.
 - 98. La bactérie qui contamine les patients de cet hôpital perd sa virulence.
 - 99. La pianiste qui va entrer sur la scène glissante peigne ses cheveux.
 - 100. Le réceptionniste accusé de décourager les clients du soir défend ses intérêts.
 - 101. Les bénévoles engagés pour construire un muret de béton dessinent des plans.
 - 102. Ce château dressé sur une colline de cette région attire des visiteurs.
 - 103. La maquilleuse qui a oublié de nettoyer ses pinceaux bafouille des excuses.
 - 104. Le policier qui prend la déposition de ce plaignant lâche son crayon.
 - 105. Le naufrage du paquebot vanté sur ces grandes publicités cause la stupeur.
 - 106. Les écailles de ce serpent dissimulé dans les herbes brillent au soleil.
 - 107. Le chirurgien qui a pratiqué cette opération si délicate revient du bloc.
 - 108. Les invités qui ont cassé le plat de porcelaine proposent leur argent.
 - 109. Le cuisinier qui prépare un entremet nappé de caramel invente ses recettes.
 - 110. Le facteur sur sa bicyclette chargée de sacs postaux agite la main.
 - 111. Le braconnier perdu dans les forêts de la montagne redoute les loups.
 - 112. Le producteur qui a proposé cette émission de télévision remporte les votes.
 - 113. Cet acteur qui part voir les hippopotames du zoo a quarante ans.
 - 114. Les artistes qui consultent des voyantes aux tarifs astronomiques manquent de confiance.
 - 115. Le pharmacien qui a refusé de vendre les cachets a eu tort.
 - 116. Les prévisions de ce chercheur connu pour son honnêteté alarment la presse.
 - 117. Le musicien qui a joué la sonate pour violon range son instrument.
 - 118. Le concertiste qui a apporté la partition du menuet commence à jouer.
 - 119. Ce candidat qui veut passer son permis de conduire accumule les fautes.
 - 120. Ton collègue qui a fréquenté ces hôtels de luxe a quitté Paris.